

El problema de la descarga del agua subterránea al medio superficial: estudio de esquemas de conocimiento en universitarios

Gracia Fernández Ferrer¹; Francisco González García²

¹ CPR Valle Verde, Otívar, Granada

² Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Granada.

Resumen:

En este trabajo se muestran los resultados de un estudio sobre los esquemas de conocimiento de estudiantes universitarios en relación a la importancia que prestan al agua subterránea para explicar el caudal de un río tras un tiempo sin precipitaciones, así como su integración en sus representaciones gráficas sobre el ciclo del agua. Los resultados indican una importante incultura hidrogeológica de los universitarios, reclamándose la toma de conciencia y formación del profesorado en general en este campo, así como la realización de campañas divulgativas para paliar los problemas que afectan a una adecuada gestión de los recursos hídricos subterráneos.

Palabras clave: agua subterránea, descarga, caudal de un río, esquemas de conocimiento, hidroesquizofrenia.

Abstract:

In this work the results of a study are shown on outlines of undergraduate knowledge with regard to the importance that provide to the ground water to explain the flow rate of a river after a time without rainfall, as well as its integration in its graphical presentations on the cycle of the water. Results indicate a significant one lack of culture hydrogeological of the university students, demanding the takeover of conscience and training of the general professorship in this field, as well as the informative conducting campaigns to alleviate problems that affect to a suitable management of the subterranean water resources.

Key Words: ground water, download, flow rate of a river, outlines of knowledge, hydroschizophrenia.

(Fecha de recepción: marzo, 2010, y de aceptación: septiembre, 2010)

1. Introducción

Si emprendemos un análisis de las razones que pueden fundamentar la importancia de la cultura científica de los ciudadanos sobre el agua subterránea, pronto se detectan varias posibilidades que conjuntamente le dan un valor incalculable. La principal es su integración dentro del ciclo del agua, siendo por ello imprescindible su conocimiento para tener una idea acertada del funcionamiento del mismo (Rebollo y Martín-Loeches, 2007; Fernández-Ferrer, 2009). Por otro lado, al compararla con las aguas superficiales de lagos y ríos se sabe que es más abundante y que tiene un tiempo de residencia mayor. Su cantidad corresponde al 30.1% frente al 0.35% de la superficial (Shiklomanov, 1997), teniendo en cuenta el total del agua dulce que se encuentra en la superficie de los continentes o a escasas profundidades y que obtenernos de forma más fácil y barata.

La cualidad de tener un tiempo de residencia mayor se refiere a que está más tiempo en su reservorio, de tal modo que una gota de agua desplazándose en acuíferos detríticos tardaría siglos e incluso miles de años en llegar al mar desde una distancia de 200 km de la costa, mientras que la misma desplazándose por un río tardaría pocos días en llegar al mar (López *et al.*, 2001). Solo en acuíferos kársticos puede haber fracturas y grietas que permitan al agua circular más rápidamente. Estos elevados tiempos de residencia convierten el agua subterránea en un recurso valiosísimo para resolver problemas de abastecimiento en períodos de sequía

(Cruz, 2006), así como en diversas situaciones conflictivas (Llamas 2000, 2007, 2008a y 2008b).

Con estas anteriores razones podríamos considerarla fundamental para estar integrada en los programas educativos oficiales y ser tenida en cuenta en la gestión del agua por parte de la administración. Otra razón importante es la dimensión ética, el sentimiento, el bienestar natural y poder de evocación que puede tener el agua en sus distintas moradas y formas dentro de la naturaleza, como reclama la Nueva Cultura del Agua (Antoranz y Martínez, 2002; Moyano, 2002). En este sentido el agua subterránea, en su descarga al exterior a través de manantiales, enmarca la identidad de paisajes particulares con singular belleza, acopiando leyendas, historietas y tradiciones de los lugareños.

No obstante, alrededor del agua subterránea se disponen multitud de problemas, que en conjunto están causados por la falta de cultura en materia hidrogeológica que tiene la población, al estar precisamente asociados al desconocimiento de su localización, funcionamiento, abundancia, importancia, así como a lo que Llamas (2008a) denomina la falta de ética en el uso y gestión, siendo la educación y formación de la población desde donde se debe comenzar a resolverlos (Llamas, 2000).

Entre los problemas derivados de la tendencia a desvincular el agua subterránea del ciclo del agua en general destacan el *ocultismo*, el *hidromito de su vulnerabilidad* y la *hidroesquizofrenia*.

Con el término *ocultismo* nos referimos al halo de misterio que tradicionalmente rodea al agua subterránea, con-

siderándola como algo extraordinario y mágico, de tal modo que en nuestros días se sigue recurriendo a la figura del zahorí para alumbrarlas o detectarlas (López et al, 2001), aun utilizando técnicas pseudocientíficas. Esto hace que la ubicación y proyecto de los pozos, por lo general no responda a un diseño hidrogeológico adecuado (Llamas, 2008). La falta de cultura científica hace que la mente humana intente dar respuesta a los fenómenos naturales ocultos o poco visibles a través de razonamientos vagos y simples. En este sentido, el agua subterránea es menos obvia, todos sabemos cómo funciona un río, pero las aguas subterráneas son más difíciles de interpretar (Cruz, 2006). Al ser pues, un fenómeno oculto que escapa de la vista, requiere para su entendimiento un nivel de abstracción muy alto (Benzvi-Assarf y Orion, 2005).

El *hidromito sobre su vulnerabilidad* se refiere a la idea equivocada de que todo pozo se seca o saliniza, o que los recursos hídricos subterráneos son especialmente frágiles y no conviene utilizarlos si es posible utilizar recursos hídricos superficiales aunque estos sean más caros (Custodio y Llamas, 1997). Es cierto que algunos acuíferos han sido acosados por la sobreexplotación, como muestran diversos estudios (Bru, 1993; Pulido et al., 1995; Pulido, 2000; Pede et al, 2002; Lacorte et al., 2003; Vázquez, 2004), pero el problema general radica en una mala gestión que ha favorecido durante años la llamada revolución silenciosa del uso intensivo del agua subterránea (Llamas, 2007; 2008a y 2008b).

Por último la *hidroesquizofrenia*, término acuñado por Raymond L. Nace en 1973, recoge la escasa atención prestada al agua subterránea por las administraciones públicas competentes y que sin embargo sostenían con tozudez la demanda de agua mediante la regulación del agua superficial (Pastor, 2004). Esta atención defectuosa es consentida por los ciudadanos, que se ven afectados por el mismo síndrome. Para Llamas (1974, 1975, 2008a y b) esta enfermedad o síndrome está arraigado actualmente en España causando graves problemas de gestión.

El pensamiento de desvinculación con el medio superficial es un grave error que no debe pasarse por alto pues ambos reservorios están profundamente ligados. Gran parte de las subterráneas verán la luz en su salida por manantiales mientras que las superficiales podrán perderla al infiltrarse a su paso por materiales permeables (Castillo, 2002). La conexión entre el agua superficial y subterránea es tan íntima que, por ejemplo, la mayoría de los investigadores utilizan flujo base de un río y descarga de agua subterránea como si fueran sinónimos debido a que es la fuente más común que lo alimenta (Price, 2003). Esta conexión debe favorecer una gestión integrada de ambas para lograr un uso sostenible y adecuado del agua disponible, particularmente en un clima mediterráneo (caracterizado por tener ciclos secos y húmedos muy intensos variando mucho de unos años a otros, e incluso, dentro de un mismo año de una estación a otra) donde suele haber grandes problemas de abastecimiento (Cruz, 2006).

El olvido de las aguas subterráneas dentro del ciclo del agua ha sido también constatado en estudiantes (Benzvi-Assarf y Orion, 2005; Dickerson y Callahan, 2006; Dickerson *et al.*, 2007; Fernández-Ferrer y González, 2008). Las diferentes investigaciones coinciden en la falta de identificación como componente del ciclo del agua, conociendo únicamente la parte atmosférica y superficial, y tratándolas como algo anecdótico. Por otro lado, otros estudios muestran que los esquemas de conocimiento en estudiantes de diferentes edades sobre el agua subterránea son mayoritariamente erróneos, localizándolas en lagos estacados, ríos subterráneos o combinación de ambos (Yus, 1994; Dickerson y Dawkins, 2004; Dickerson *et al.*, 2005; Fernández-Ferrer y González, 2008; Fernández-Ferrer *et al.*, 2008; Fernández-Ferrer *et al.*, 2009).

Los autores de este trabajo han estudiado durante varios cursos los esquemas de conocimiento de estudiantes universitarios sobre tres campos relativos al agua subterránea: su importancia dentro del ciclo, los modelos de localización y funcionamiento, y su actitud hacia el ocultismo que la rodea. En este trabajo exponemos los resultados del estudio relativo a la importancia que le prestan al agua subterránea dentro del ciclo del agua. En concreto, se estudian las conexiones con el medio superficial a través de las descargas a un río, así como su integración en representaciones gráficas sobre el ciclo del agua (Fernández-Ferrer, 2009). Nos planteamos responder a los siguientes interrogantes: ¿Es lo suficientemente importante el agua subterránea en los

universitarios para explicar el caudal de los ríos tras un tiempo sin llover y para ser representada en sus dibujos sobre el ciclo del agua? ¿En el supuesto de que aseguren la necesaria descarga a los ríos, en qué lugares la sitúan a lo largo de su curso y qué vocabulario utilizan para ello? ¿Son consistentes sus esquemas de conocimiento a través de diferentes técnicas de estudio? ¿En qué medida influyen los estudios de determinadas licenciaturas o bachilleratos o materias concretas en los esquemas de conocimiento de esos estudiantes universitarios? La finalidad del estudio es determinar un diagnóstico de la situación actual en que se encuentra la cultura hidrogeológica de los universitarios y con este punto de partida poder establecer, en su caso, medidas de mejora en el proceso de enseñanza-aprendizaje pre y universitario o en campañas de alfabetización de la población.

2. Metodología

Uno de los problemas que suscita el estudio de esquemas de conocimiento sobre el agua subterránea es la dificultad de diseñar instrumentos de evaluación apropiados (Dickerson *et al.*, 2007). Un estudio sobre esta problemática muestra que los métodos comunes de evaluación sobre los esquemas relativos al agua subterránea utilizan un vocabulario que puede ocultar concepciones erróneas (Dickerson y Dawkins, 2004). Como alternativa Beilfuss (2004) estudia los esquemas de conocimiento por medio de entrevistas y de dibujos, obteniendo resultados más procedentes.

En el presente estudio se utilizan los dibujos y la expresión escrita abierta, por lo que el vocabulario que se observe vendrá determinado únicamente por el propio bagaje lingüístico de los diferentes casos.

La muestra estuvo formada por 506 estudiantes de la Universidad de Granada. El reparto por carreras, cursos o ciclos fue el siguiente: 2º curso de Magisterio de Educación Primaria (187 casos), Ciencias Biológicas (141 casos repartidos equitativamente entre primer y segundo ciclo), Ciencias Ambientales (100 casos, de los que 63 son del primer ciclo), Ciencias Geológicas (41 casos de los que 26 son del primer ciclo), y Otras carreras que incluía a Ciencias Químicas (15 casos de distintos cursos) e Ingeniería de Caminos (22 casos de 1º curso).

Se conocía la modalidad de bachillerato de procedencia, repartiéndose entre el 57% de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud (CNS), el 13% de Tecnologías (TEC), el 20% de Ciencias Sociales (CS) y el 10% de Humanidades (HUM).

De igual modo, se conocía si habían cursado la asignatura de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (CTMA), que en total fueron 221 casos. Es destacable que hubo 143 casos de Magisterio que procedían de las modalidades de bachillerato de CS y HUM, en cambio la casi totalidad del resto de estudiantes de otras carreras lo hacían desde CNS y TEC.

Otro dato conocido fue la posibilidad de haber cursado durante la carrera la asignatura de Hidrogeología, de tal modo, que 57 casos sí la habían hecho,

siendo todos de Ambientales (46 casos) y Geológicas (11 casos).

A la muestra se le plantearon dos tareas de forma secuencial y separada:

Tarea 1. Se les solicita responder a la cuestión relativa a la siguiente situación problemática: *“Una gota de agua caída en el nacimiento del río Guadalquivir tarda aproximadamente una semana en llegar a la desembocadura del río, entonces, ¿de dónde procede su agua tras meses sin llover?”*.

Tarea 2. Se les instó a dibujar del modo más detallado posible el ciclo del agua.

Para la construcción de las tareas se realizó un estudio piloto previo con 59 estudiantes de Traductores e Interpretes, Magisterio, Bachillerato (Ciencias de la Naturaleza) y Educación Secundaria Obligatoria. Posteriormente fue revisado por tres de profesores del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Granada hasta su formato final utilizado.

Las variables categorizadas entre las dos tareas fueron las siguientes:

- V₁. Referencia al agua subterránea para explicar la procedencia del agua.
- V₂. Terminología para referirse al agua subterránea.
- V₃. Localización de las salidas del agua subterránea.
- V₄. Representación del agua subterránea en un dibujo del ciclo del agua.

Las variables V1, V2 y V3 fueron estudiadas a partir de la Prueba 1.

El análisis de los diferentes registros escritos expuestos por los casos se hizo de modo inductivo. Mediante un sistema de rejilla abierta surgieron las diferentes categorías para clasificar cada tipología de registros. El procedimiento consiste en ir definiendo categorías en función de los datos, de tal modo que todos puedan ser clasificados.

El análisis de los dibujos de la Prueba 2 se realizó basándose en los modelos establecidos por Márquez y Bach (2007), que constituyen una secuencia evolutiva (desde el Tipo 1 al 6), desde la sencillez y parcialidad a lo complejo y global, sobre las representaciones del ciclo del agua, y que son definidos teniendo en cuenta los componentes espaciales (almacenes de agua en la naturaleza) y dinámicos (flujos de agua o procesos) del mismo. En el análisis descrito se hizo una diferenciación entre los modelos que no incluyen el agua subterránea en sus representaciones (Tipo 1, 2 y 3) y los que sí (Tipo 4, 5 y 6). El primer grupo recoge esquemas no cíclicos (Tipo 1), atmosféricos (Tipo 2) y superficiales (Tipo 3). En el segundo grupo la diferenciación entre modelos se hace según exista recarga y/o descarga del medio subterráneo. De este modo el Tipo 4 (de circulación subterránea) representa descarga de las aguas subterráneas pero no recarga pues no aparece la infiltración, el Tipo 5 (reserva independiente) puede esquematizar infiltración o recarga para formar lagos o ríos subterráneos, pero no aparece descarga que conecte de nuevo con el ciclo y el Tipo 6 (integrador) recoge tanto recarga por infiltración como descarga por surgencia.

Para comprobar la posible dependencia significativa entre representar el agua subterránea (V4) y utilizarla para recarga el agua del río (V1), se práctico la prueba χ^2 con un nivel de confianza del 5%.

Las variables V2 y V3 mostraron información sobre el nivel de especialización que tiene el vocabulario utilizado por los estudiantes al referir el agua subterránea, así como de la localización y número de salidas al exterior, por lo que se pudo observar posibles ideas erróneas o la influencia académica sobre los esquemas de conocimiento.

3. Resultados

3.1. Referencia al agua subterránea para explicar la procedencia del agua del río.

Los resultados muestran que algo más de la mitad de los universitarios estudiados (61,6%) consideran importante el agua subterránea para abastecer el caudal de un río, ya sea utilizándola como única recarga o acompañando a otras superficiales (deshielo, afluentes, etc.). La Tabla 1 muestra las categorías en las que se han clasificado cada uno de los registros, así como su frecuencia y porcentaje.

En la correlación de esta variable con la carrera de estudio, se apreció que los estudiantes que más utilizan el agua subterránea, exclusivamente o acompañada, son los de Geológicas (85,3%), decreciendo sucesivamente en uso las carreras de Ambientales (68%), Biológicas (66,7%), Otras (56,7%) y Magisterio (50,3%). Por su parte, los que no contes-

Tabla 1. Frecuencia y porcentaje de las categorías de análisis para explicar la procedencia del agua del río en periodos sin precipitaciones.

Simbología	Categorías	Frecuencia	Porcentaje
SoloAS	Solo agua subterránea	190	37,5
ASyOtros	Agua subterránea y/u otros	122	24,1
NoAS	Distinta al agua subterránea	130	25,7
NC	No contesta	64	12,7
	Total	506	100,0

tan a la cuestión coinciden mayoritariamente con estudiantes de Magisterio (20,9%) y de Otras (18,9%).

Al suponer que el mayor uso de agua subterránea por los estudiantes de Geológicas y Ambientales puede estar relacionado con la asignatura de Hidrogeología, se han correlacionado los datos conocidos, resultando que efectivamente tal influencia parece importante, al detectarse un mayor porcentaje de casos que utilizan el agua en el supuesto de que si la hayan cursado (80,7%) frente a lo que no (59,2%). No obstante esta diferencia puede no verificarse entre los estudiantes de Ambientales y Geológicas del mismo modo, siendo por ello que se han correlacionado los datos según pertenezcan a una carrera y hayan o no cursado la asignatura. De este modo se aprecia que todos casos de Geológicas y que sí la han cursado utilizan el agua subterránea, unicamente o acompañada, frente a los de Ambientales que en las mismas circunstancias, la utiliza el 76,1%. Los estudiantes de Ambientales que no han cursado Hidrogeología la utilizan el 61,1%, frente a

los de Geológicas que lo hacen en un 80%.

Por último, destacamos que el haber cursado una modalidad de Bachillerato o la asignatura de CTMA, no muestra una diferenciación significativa de la tendencia descrita en los datos generales de estudios de licenciatura.

3.2. Terminología para referirse al agua subterránea

Esta variable estudia la terminología que utilizan los universitarios para referirse al agua subterránea, en el supuesto de que la utilicen para explicar la procedencia del agua del río.

Las categorías que se establecieron fueron Manantial (MAN), Agua subterránea (AS), Acuífero (ACUI), Agua interior (AGINT), acumulación (RESER), Río subterráneo (RIO) y Diferente o combinación de anteriores (OTRA). Ejemplos significativos de cada una de estas son los siguientes (los números entre paréntesis corresponden a la identificación de los sujetos de estudio):

- MAN: “*Manantiales*” (404), *De los afluentes, manantiales en las cumbras*” (418), “*Se trata de un nacimiento (manantial) de agua con lo cual el agua rebrota*” (444) *Del yacimiento original* (S. Cazorla)” (360).
- AS: “*De las aguas subterráneas*” (300), “*De los afluentes, de las aguas subterráneas, del deshielo*” (336).
- ACUI: “*De acuíferos subterráneos que han sido formados por el propio río a través de su historia*” (268), “*Puede proceder de acuíferos subterráneos que tras llover éste no puede retener más; también puede proceder de otros pequeños torrentes y arroyos, que tras el deshielo incorporan el agua*” (440).
- AGINT: “*Del agua que asciende del interior, por alguna porosidad y del deshielo de las montañas*” (280), “*Parte del agua se infiltra al interior de la tierra y va viajando entre los materiales de debajo de la superficie. Posteriormente, vuelve a resurgir y sale de nuevo a la superficie*” (240).
- RESER: “*Procede del agua que se queda estancada en el interior de la tierra y que tarda más en llegar a la costa*” (252), “*De los almacenamientos interiores de la Tierra*” (101).
- RIO: “*De ríos subterráneos*” (256), “*De ríos subterráneos y afluentes*” (245), “*Procede del río subterráneo que fluye por debajo del Guadalquivir*” (434).

- OTRO: “*De afluentes y en menor medida del nivel freático*” (255), “*De la intrusión marina y reservas naturales*” (462), “*De los acuífero, en la desembocadura proviene de la intrusión del agua marina en el río según las mareas*” (475), “*De los manantiales y los pozos subterráneos de agua*” (277), “*Del interior de la tierra, acuíferos, o corrientes subterráneas*” (452), “*De los manantiales y ríos subterráneos, que suponen un remanente de agua para el curso fluvial*” (428).

Del análisis de esta variable se puede extraer información sobre los modelos de localización del agua subterránea que tienen los estudiantes. Estos datos si se correlacionan con otros extraídos de otras pruebas diferentes pueden favorecer un conocimiento más profundo y fiel de los mismos.

En este primer acercamiento se detectan esquemas de conocimiento, en muchos casos erróneos, sobre tal localización y funcionamiento, acordes con los datos extraídos de estudios previos, que muestran como los estudiantes de diferentes edades piensan que el agua subterránea se encuentra en ríos subterráneo, lagos estancados o combinación de ambas, como los registros clasificados en las categorías RIO o RESER.

Otros registros los podemos considerar neutros al no dar una información tan detallada, como es el caso de los clasificados en las categorías MAN, AS, AGINT, mientras que otros son determinantes de una mayor influencia académica, como los de la categoría ACUI.

Tras el recuento de los registros en cada categoría (Tabla 2) se ha observa-

Tabla 2. Frecuencia y porcentaje de las categorías de análisis para la terminología referente al agua subterránea.

Símbolo	Categorías	Frecuencia	Porcentaje
MAN	Manantial	101	32,4
AS	Agua subterránea	83	26,6
ACUI	Acuífero	39	12,5
AGINT	Agua interior	25	8,0
RESER	Acumulación de agua subterránea	24	7,7
RIO	Río subterráneo	11	3,5
OTRO	Otras terminologías o combinación de anteriores	29	9,3
Total		312	100

do que la más utilizada para referirse al agua subterránea es MAN, que agrupa los registros relativos a “manantiales”, “manantiales subterráneos” o “nacimientos de agua”, constituyendo el 32,4% de los 312 casos que utilizan el agua subterránea para explicar el caudal del río. Le siguen en cantidad las de AS y ACUI, siendo inferiores al 10% los registros referidos a AGINT, RESER, RIO y OTRO.

Al correlacionar los datos con la carrera de estudio se observó que el término acuífero es utilizando mayoritariamente por estudiantes de Geológicas y Ambientales, siempre que hayan estudiado la asignatura de Hidrogeología en el segundo caso. Al mismo tiempo también se detectan en estos grupos los casos que utilizan el término nivel freático. En cambio es destacable que los registros clasificados en RIO son

utilizados por estudiantes del resto de estudios universitarios.

3.3. Localización de las descargas del agua subterránea que alimentan al río

La distribución espacial de las descargas de agua subterránea al río nos muestra información de los esquemas de conocimiento relativos al funcionamiento de la misma y a la importancia real que dan los estudiantes en su integración al ciclo del agua. Son determinantes en este sentido los registros que mencionan un único manantial o salida situándola en el nacimiento del río o los que refieren la importancia de que haya muchas, y si a estas los localizan en ese mismo nacimiento o a lo largo de todo su recorrido. Es por esto, que se estudiaron los diferentes registros que hacían mención a tal localización.

Tabla 3. Frecuencia y porcentaje de las categorías de análisis referentes a las descargas del agua subterránea en el curso del río.

Símbolo	Categorías	Frecuencia	Porcentaje
NAC	Nacimiento del río	71	22,8
CUR	En el curso del río	17	5,4
NM	Ninguna mención	224	71,8
	Total	312	100

Los registros se han clasificados en tres categorías, según hagan referencia de descarga únicamente en el nacimiento del río (NAC), en su curso (CUR) o a no hagan ninguna mención espacial (NM). Ejemplos significativos de las diferentes categorías son:

- NAC: *“Del nacimiento del río”* (264), *“El agua puede proceder de aguas subterráneas que manan en el nacimiento del río”* (328).
- CUR: *“El agua procede del acuífero correspondiente a la vega del río Guadalquivir. En este caso es río ganador y el agua fluye del acuífero”* (249), *“El agua de los ríos procede de manantiales que vierten agua continuamente en su nacimiento y también de los ríos afluentes que se le unen durante el curso del mismo, haciendo que este lleve un caudal más o menos constante. Además bajo los ríos hay agua infiltrada que sale al exterior”* (269).
- NM: *“El agua procede también de las aguas subterráneas, creo”* (10), *“El río tiene otros aportes de agua que provienen de aguas subterráneas, deshielo.”* (450).

Del recuento de las categorías (Tabla 3) se observa que el 71,8% de los casos

que utilizan el agua subterránea para explicar el flujo del río en períodos sin precipitaciones, no hacen referencia a ninguna localización espacial de la descarga. El resto que sí lo hace, mayoritariamente refiere una única salida situada en el nacimiento del río, y un pequeño porcentaje, solo un 5%, de casos aclaran que hay más descargas y que se sitúan a lo largo de su curso.

Al correlacionar los datos de esta variable con la carrera de estudio, se observa que son los de Geológicas los que en mayor porcentaje hacen mención a la alimentación subterránea a lo largo del cauce del río, seguidos de los casos de Ambientales, influyendo sobre todo en estos el hecho de haber cursado la asignatura de Hidrogeología. En cambio, el resto de carreras mayoritariamente hacen referencia a un nacimiento único en la zona de cabecera.

3.4. Representación gráfica del ciclo del agua

Las representaciones del ciclo del agua se han clasificado siguiendo la tipología de Márquez y Bach (2007).

Hay un 17% de estudiantes que no contestan a la pregunta, pareciendo

Tabla 4. Frecuencia y porcentajes de las categorías que tipifican los tipos de modelos de ciclos de agua representados.

Simbología	Categorías	Frecuencia	Porcentaje
NC	No contesta	97	17,0
TIPO 1	Modelo no cíclico	0	0
TIPO 2	Modelo atmosférico	74	14,6
TIPO 3	Modelo de circulación superficial	137	27,1
TIPO 4	Modelo de circulación subterránea	17	3,4
TIPO 5	Modelo del agua subterránea como reserva independiente	119	23,6
TIPO 6	Modelo integrador	62	12,2
TIPO 0	Sin modelo	11	2,2
	Total	506	100

incapaces de realizar su dibujo o representación gráfica. El modelo tipo 1 o no cíclico, no aparece en ninguna de las representaciones. Los modelos de circulación atmosférica y superficial suponen en conjunto el 41,7%. Los modelos tipo 4, 5 y 6 incluyen el agua subterránea, suponiendo en conjunto el 39,2% del total de la muestra (Tabla 4).

Dentro de los modelos que incluyen el agua subterránea, el más utilizado es el tipo 5, donde se la representa como una reserva independiente que puede tener o no entrada por infiltración, pero que no tiene salida. En situación opuesta en cuanto a frecuencia de uso se encuentra el modelo 4, con salida pero sin entradas. Ejemplos significativos de ambos modelos se recogen en la Figura 1.

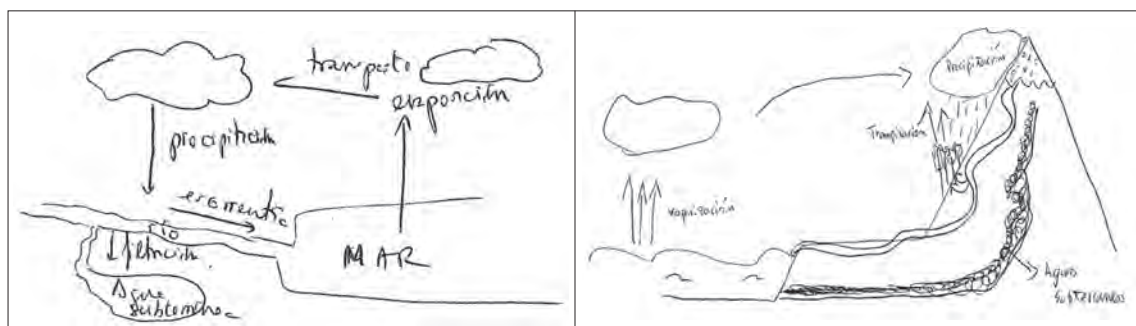


Figura 1. Modelos tipo 5 o de reserva sin salida (izquierda) y tipo 4 sin entrada (derecha).

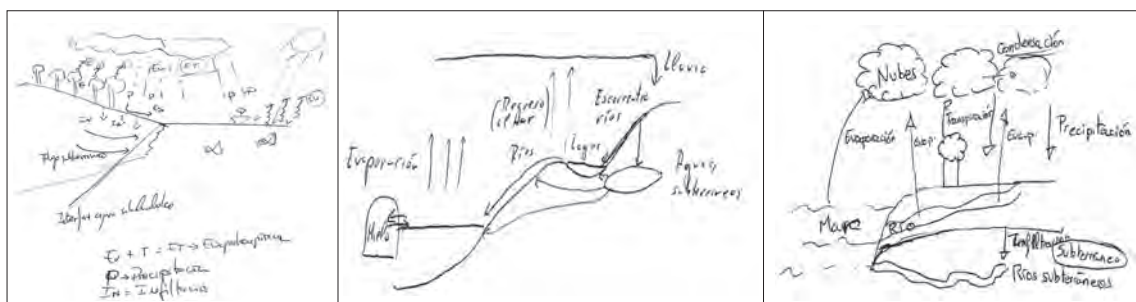


Figura 2. Ejemplos significativos del modelo tipo 6 o integrador del ciclo del agua, sin detección de errores (dibujo izquierdo) y con errores (dibujos central y derecho).

Por otro lado el modelo integrador, que hace intervenir la entrada y la salida del medio subterránea es utilizado por el 12,2% del total, aún así, en estos modelos se han detectado errores de localización y funcionamiento del agua subterránea. De este modo en la Figura 2 se aprecian tres representaciones del modelo, de las cuales, dos acopian ideas erróneas en cuanto a localización espacial del agua subterránea, como “balsa de agua” (imagen central) o “río subterráneo” (imagen derecha).

Los modelos Tipo 2 y 3 son utilizados mayoritariamente por los estudiantes de Magisterio, Biológicas y Otras, aunque también aparecen en diversos casos de estudiantes de Geología y Ambientales. No se ha detectado ninguna relación significativa con los estudios previos universitarios, aunque sí con el haber o no cursado la asignatura de Hidrogeología en los casos de Ambientales y Geológicas.

La mencionada influencia de la asignatura se detecta al representar mayoritariamente los modelos que no incluyen el agua subterránea por los casos que no

la han cursado. En cambio, al haberlo hecho desemboca en una representación mayoritariamente los modelos Tipo 5 (sin descarga), seguido de 6 y 4 (ambos con descarga). La influencia descrita, como se ha observado a lo largo del estudio, no se verifica de igual modo en ambas carreras, siendo más determinante en los casos de Geológicas pues son estos los que mayoritariamente representan el modelo integrador o Tipo 6, mientras que los de Ambientales lo hacen mayoritariamente del Tipo 5.

3.5. Correlación entre la “Procedencia del agua del río” (V1) con la “Representación gráfica del ciclo del agua” (V4)

Para comprobar si existe una dependencia estadísticamente significativa entre la utilización del agua subterránea para explicar la procedencia del agua del río y su integración en la representación gráfica del ciclo del agua, se ha procedido a la aplicación de la prueba estadística Chi-cuadrado. Para un nivel de confianza del 5%, se resuelve que ambos

grupos de datos están relacionados significativamente, con este hecho podemos validar internamente el estudio realizado. El análisis correlacional determina una tendencia significativamente mayor a dibujar el agua subterránea (en sus tipos de ciclos 4, 5 o 6) en los casos que también utilizan el agua subterránea para explicar la procedencia del agua del río tras meses sin llover.

4. Discusión e implicaciones para la enseñanza

La utilización del agua subterránea para explicar la procedencia del agua de un río tras meses sin llover se constata en algo más de la mitad de la muestra, tanto si lo hacen aisladamente o acompañada de otras fuentes (afluentes, deshielo, etc). De este modo se puede decir que para una mayoría, no muy alta, el agua subterránea es importante para recargar el agua superficial. Otra reseña es que esto conlleve un conocimiento de su funcionamiento o importancia real del hecho, como lo manifiestan el resto de datos obtenidos del estudio.

Las ideas erróneas detectadas en cuanto a utilización de terminología, funcionamiento y localización del agua subterránea, así como sus descargas al medio superficial, en los casos que sí han utilizado el agua subterránea a lo largo del estudio, muestra una coincidencia con los estudios previos mayoritariamente vinculados a estudiantes de secundaria, y que en este caso se amplían a universitarios, constantándose en general una importante incultura relativa a los fundamentos hidrogeoló-

gicos del planeta (Yus, 1994; Dickerson y Dawkins, 2004; Dickerson *et al*, 2005; Fernández-Ferrer y González, 2008; Fernández-Ferrer *et al*, 2008; Fernández-Ferrer *et al*, 2009). Situación precaria que únicamente se resuelve en casos privilegiados que han optado por cursar la asignatura de Hidrogeología. Si extrapolamos estos datos al resto los jóvenes que no han optado por continuar estudios universitarios, nos da una idea de la posible situación.

Estos hechos son bastante preocupante en la situación de estudiantes universitarios, que nos ocupan, al privarlos de poder ejercer su derecho a opinar como ciudadanos o a llevar a cabo un uso adecuado del agua subterránea como futuros usuarios, o en casos más graves, a seguir manteniendo estas ideas en las generaciones venideras, en el supuesto de que planteen sus expectativas laborales hacia la docencia.

El discurso de la gestión de los recursos hídricos requiere de ciudadanos preparados para tomar decisiones tanto a nivel administrativo como de usuario. En este sentido, Llamas (2008a, 2008b) muestra claramente la necesidad de una adecuada campaña de divulgación dirigida a los alumnos de enseñanza secundaria y a los jóvenes agricultores, que nosotros también ampliaríamos al ámbito universitario.

Es por ello, que sería necesaria una toma de conciencia por parte del profesorado en general en relación a esta temática, lo que esperamos ocurra con el desarrollo de la nueva ley de educación (Ley orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación en BOE número 106 de 4/5/2006). Como novedad, uno de los

principios que inspira la ley es el compromiso con los objetivos educativos planteados por la Unión Europea. En este sentido la Directiva Marco sobre Políticas del Agua en la Unión Europea que entró en vigor en Diciembre del 2000, que es de obligado cumplimiento desde el 2003, y debiéndose cumplir los objetivos medioambientales en diciembre del 2015, pretende garantizar la existencia suficiente de agua para las generaciones futuras, alcanzando unos niveles de alta calidad, siendo necesario para ello una gestión sostenible. Dado que la referencia al agua integra a la subterránea como parte fundamental del ciclo, como muestra la Ley del Plan Hidrológico Nacional (título preliminar, artículo primero), que *“las aguas continentales superficiales, así como las subterráneas renovables, integradas todas ellas en el ciclo hidrológico, constituyen un recurso unitario”*, es fundamental una formación de los ciudadanos que también incluya a la del medio subterráneo.

Por otro lado, la citada Ley de Educación recalca la autonomía de las distintas comunidades con competencias en educación, así como de los distintos centros educativos a desarrollar el currículo contextualizándolo. En este sentido en lo que compete al profesorado es tarea importante que, al desarrollar sus funciones de programación y enseñanza de las áreas y materias, tenga un conocimiento adecuado de los conceptos. Se hace de este modo, necesaria una formación universitaria adecuada así como la formación del profesorado ya existente, haciendo amago de otro de los principios de la nueva ley que en-

tiende la educación como un aprendizaje permanente.

En relación a la representación gráfica del ciclo del agua, los datos generales muestran un porcentaje menor a la mitad de estudiantes que integran el agua subterránea en dicho ciclo. Casi un 20% de los estudiantes no hicieron la tarea, declarando en algunos casos que “no sabían dibujar pero que lo podían escribir”. Ello nos lleva a pensar en una mayor dificultad para expresar los esquemas de conocimiento por parte de los estudiantes a través de la expresión plástica, como hemos constatado en otros estudios, o incluso por expresión oral donde los alumnos declaraban que no sabían explicar bien una imagen que se les mostraba (González y Fernández-Ferrer, 2010). La dificultad encontrada en estudiantes universitarios para expresarse en vías que no sean las exclusivas de la prueba escrita son fruto, probablemente, del fomento casi exclusivo de esas pruebas durante la secundaria, bachillerato y universidad. Es previsible que las modificaciones en la prueba de acceso a la universidad y la entrada de los nuevos grados universitarios refuercen la presencia de pruebas orales y acoten la omnipresencia de las pruebas escritas.

Por último señalar que nuestro trabajo viene a coincidir con las indicaciones de autores como Beilfuss (2004) que llaman la atención en el uso de pruebas diversas con imágenes o entrevistas, y no solo cuestionarios escritos, para estudiar los esquemas de conocimiento de los estudiantes.

Referencias Bibliográficas

- ANTORANZ, M.A y MARTÍNEZ, F.J. 2002. El agua y los ríos en el sistema educativo. *Actas del III Congreso Ibérico sobre la Gestión y Planificación del Agua*. Sevilla. En http://alojamientos.us.es/ciberico/archivos_acrobat/sevillaponenantoranz.pdf.
- BEILFUSS, M.D. 2004. Exploring Conceptual Understandings of Groundwater Through Student's Interviews and Drawings. Proceedings of the 77th Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Vancouver, B.C. PDF.
- BEN-ZVI-ASSARF, O. y ORION, N. 2005. A study of junior high students' perceptions of water cycle. *Journal of Geoscience Education*, 53 (4), 366-373.
- BRU, C. 1993. La sobreexplotación de acuíferos y los planes de ordenación hidráulica en la cuenca del río Vinalopó: Alicante. *Investigaciones Geográficas*. 11, 93-108.
- CASTILLO MARTÍN, A. 2002. *Manantiales de Granada*. Los libros de la estrella. Guías de la Naturaleza. Diputación de Granada, pp. 168.
- CRUZ SAN JULIÁN, J. 2006. Investigadores de la UGR proponen las aguas subterráneas como alternativa para el abastecimiento ante la sequía. *Noticias - ciencia*. Universidad de Granada. En <http://prensa.ugr.es/prensa/investigacion/verNota/prensa.php?nota=>.
- CUSTODIO, E., y LLAMAS, M.R. 1997. Consideraciones sobre la génesis y evolución de ciertos "Hidromitos" en España. En: *Defensa de la Libertad - Homenaje a Víctor Mendoza*, Instituto de Estudios Económicos, Madrid, pp. 167-179.
- DICKERSON, D y DAWKINS, K. 2004. Eighth grade students' understandings of groundwater. *Journal of Geoscience Education*, 52 (2), 178-181.
- DICKERSON, D., CALLAHAN, T.J., SICKLE, M.V., HAY G. 2005. Students' conceptions of Scale Regarding Groundwater. *Journal of Geoscience Education*, 53, (4), 374-380.
- DICKERSON, D.L. y CALLAHAN, T. 2006. Ground water is not a priority. *Ground Water*, 44 (3), 323.
- DICKERSON, D.L., PENICK, J.E., DAWKINS, K.R., y VAN SICKLE, M. 2007. Groundwater in science education. *Journal of Science Teacher Education*, 18(1), 45-61.
- FERNÁNDEZ-FERRER, G. 2009. *El agua subterránea: estudio de esquemas de conocimiento en universitarios y estrategias didácticas para su aprendizaje significativo en estudiantes de secundaria*. Granada: Universidad de Granada. En <http://0hera.ugr.es.adrastea.ugr.es/tesisugr/18323406.pdf>.
- FERNÁNDEZ-FERRER, G. y GONZÁLEZ, F. 2008. El agua subterránea en la escuela: un estudio de cambio conceptual en alumnos de educación secundaria basado en la investigación-acción. A. Calogne, L. Rebollo, M.D. López-Carrillo, A. Rodrigo e I. Rábano (Eds.), *Actas del XV Simposio sobre Enseñanza de la Geología*.

- Cuadernos del Museo Geominero*, nº11 (pp. 147-156). Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- FERNÁNDEZ-FERRER, G, GONZÁLEZ, F y CARRILLO, F.J. 2008. Los contenidos relativos con las aguas subterráneas en los textos de estudio, más allá del modelo kárstico. M.R. Jiménez (Ed.). *Ciencias para el mundo contemporáneo y formación del profesorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Actas de los XXIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (pp. 1069-1078). Almería: Universidad de Almería. En www.23edce.com/wp-content/themes/blog/descargarComunicacion2GET.php?trabajo=46.
- FERNÁNDEZ-FERRER, G.; GONZÁLEZ, F. y MAYORAL, L. 2009. Análisis de las representaciones icónicas del agua subterránea en los textos de educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, (pp.1602-1606). En <http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-1602-1606.pdf>.
- GONZÁLEZ, F. Y FERNÁNDEZ-FERRER, G. 2010. Diferencias entre analizar, explicar y producir una imagen: Aplicación al estudio de los esquemas de conocimiento sobre aguas subterráneas en estudiantes universitarios. *Actas del II Congreso Internacional de Didàctiques*. Girona.
- LACORTE, S., BARCELÓ, D. y ROSELL, M. 2003. Contaminación de acuíferos por gasolina. *Investigación y ciencia*, 323, pp. 6-13.
- LOPEZ, J.A., FORNES, J.M., RAMOS, G. y VILLAROYA, F. 2001. *Las aguas subterráneas, un recurso del subsuelo*. Madrid. Instituto Geológico y Minero de España.
- LLAMAS, M. R. 1974. Hacia la política hidrológica sin hidroesquizofrenia. *Boletín Geológico y Minero*, 86 (1), 93-98.
- LLAMAS, M.R. 1975. Non economic motivations in ground water use: hydroschizophrenia. *Ground Water*, 13 (3), 296-300.
- LLAMAS, M. R. 2000. Las grandes obras hidráulicas y el papel de las aguas subterráneas en la gestión del agua en España. II Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Aguas. Oporto. http://www.congreso.us.es/ciberico/archivos_acrobat/portocomu.ll.
- LLAMAS, M. R. 2007. Aguas subterráneas: de la revolución silenciosa a los conflictos clamorosos. *Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp)* 101 (1), 175-181.
- LLAMAS, M. R. 2008a. Aspectos éticos de los conflictos del agua en España. *Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp)*, 102 (1), 161-184.
- LLAMAS, M. R. 2008b. ¿Por qué es todavía tan deficiente la gestión de las aguas subterráneas españolas? López-Geta, J.A.; Loredó Pérez J.; Fernández Ruiz, L. y Pernía Llera, J.Mª., (Eds). *Investigación y gestión de los recursos del subsuelo. Libro*

*homenaje al Profesor Fernando Pen-
dás Fernández*, pp. 565-582.

- MÁRQUEZ, C y BACH, J. 2007. Una propuesta de análisis de las representaciones de los alumnos sobre el ciclo del agua. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15 (3), pp.280-286.
- MOYANO, E. 2002. La nueva cultura del agua: discursos, estrategias y agentes sociales. *Actas del III Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación de aguas*. Sevilla. En: http://www.congreso.us.es/ciberico/archivos_acrobat/sevillaponenmoyano.pdf.
- PASTOR, J. A. 2004. Tiempos de hidroesquizofrenia. *Revista electrónica Eubacteria. Asociación Oficina Verde de la UMA*, 12, 32-33.
- PEDE, M; HIRATA, R. C; FERREIRA, L. M. R; FERRARI, L. C. 2002. La explotación de las aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica del Alto Tietê (Sao Paulo, Brasil): crónica de una crisis anunciada. *Boletín geológico y minero*, 113 (3), 273-282.
- PRICE, M. 2003. *Agua subterránea*. México: Limusa. pp.330.
- PULIDO, A. 2000. La explotación de las aguas subterráneas y su implicación en la desertización. *Boletín geológico y minero*, 111 (5), 3-18.
- PULIDO, A., MORELL, I., y ANDREU, J.M. 1995. Hydrogeochemical effects of groundwater mining of the Sierra de Crevillente Aquifer (Alicante, Spain). *Environmental Geology*, 26, 232-239.
- REBOLLO, L. y MARTÍN-LOECHES, M. 2007. Diez preguntas elementales sobre aguas subterráneas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15 (3), 240-249.
- SHIKLOMANOV, I. A. 1997. *Comprehensive Assessment of the freshwater resources of the world*. World Meteorological Organization. pp.88
- VÁZQUEZ, E. 2004. *Urban Groundwater. Barcelona City Case Study*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya.
- YUS, R. 1994. Balsas de agua y ríos subterráneos. Representaciones de los alumnos sobre la circulación freática. Su tratamiento en la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2, Número Extra 1, VIII Simposio sobre Enseñanza de la Geología, 76-80.